

А. В. КОЗАК, ассис., Государственный аграрно-технический университет,
Каменец-Подольск

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИОДА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИМПУЛЬСНОГО ДИОДНОГО ГЕНЕРАТОРА

Проведена оценка допустимых значений импульсной мощности генераторов от изменения температуры активной области полупроводниковых диодов в течение длительности импульса.

Ключевые слова: теплопроводность; длительность импульса; скважность импульсов; тепловое сопротивление; импульсная мощность диодных генераторов.

Проведена оцінка допустимих значень імпульсної потужності генераторів від зміни температури активної області напівпровідникових діодів протягом тривалості імпульсу.

Ключові слова: теплопровідність; тривалість імпульсу; шпаруватість імпульсів; тепловий опір; імпульсна потужність діодних генераторів.

The estimation of allowable values for the pulsed power generator was made based on the temperature change of the active region of semiconductor diodes for pulse duration.

Key words: thermal conductivity, pulse width, duty cycle, thermal resistance, diode pulsed power generators

1. Введение

Максимальная выходная мощность импульсных диодных генераторов ограничивается прежде всего разогревом активных участков полупроводника [1, 2].

При работе диодных генераторов в импульсном режиме отдаваемая мощность в нагрузку тем больше, чем меньше длительность импульса. В тех случаях, когда длительность импульса значительно превышает время развития теплового пробоя, для оценки допустимых значений импульсной мощности необходимо знать закон изменения максимальной температуры активной области полупроводника в течение длительности импульса.

2. Анализ предшествующих исследований

Для ряда упрощенных моделей в литературе получены аналитические зависимости температуры активного участка лавинно-пролётных диодов (ЛПД) от времени [3,4]. Однако эти зависимости для количественных оценок энергетических параметров импульсных диодных генераторов непригодны, т.к. в них не учтена зависимость теплопроводности материала от изменения температуры активной области полупроводника в течение длительности импульса.

3. Цель статьи

Определение достижимых энергетических характеристик импульсного диодного генератора от величины длительности импульса.

4. Изложение основного материала

Уровень сверхвысокой частоты (СВЧ) мощности, генерируемый лавинно-пролётным диодом (ЛПД), определяется в основном четырьмя параметрами: напряжением пробоя U_{np} , плотностью рабочего тока J_0 , сопротивлением потерь диода R_s и площадью p - n перехода S . Так, напряжение пробоя обусловлено рабочим диапазоном частот, конструкцией и технологией ЛПД. Плотность рабочего тока J_0 ограничена предельно допустимой мощностью рассеяния на единицу площади диода и определяется температурой p - n перехода, эффективностью теплоотвода и режимом работы.

Тепловая модель ЛПД, собранного с применением монтажа активного слоя цилиндрической конечной длины непосредственно на полубесконечном теплоотводе, представлена на рис. 1. Полупроводниковая структура 1 с одной стороны монтируется на медном теплоотводящем основании 2, а с другой стороны при помощи монтажной пластинки 3 соединена с фланцем 4 металлокерамического корпуса 5 диода.

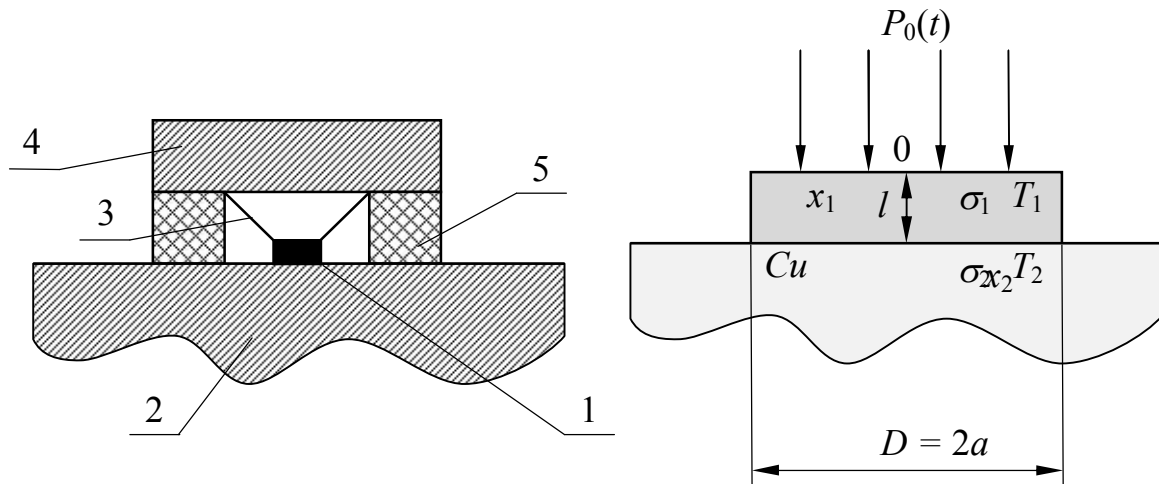


Рис. 1. Тепловая модель диода и ее одномерный эквивалент

Для рассматриваемой модели расчет сводится к следующему:

- мощность импульсного теплового потока P_i , поступающего в сечение p - n перехода, представляется постоянной $P_0 = P_i / Q$ и переменной $P_{\square} = P_i(Q - 1) / Q$ компонент, где $Q = T / \tau_i$ – скважность импульсных посылок;
- теплоотводящее основание имеет заданные величины коэффициентов теплопроводности полупроводникового материала χ и теплоотвода.

$$\sigma = (\lambda \rho c)^{\frac{1}{2}},$$

где λ, c, ρ – соответственно теплопроводность, теплоемкость и удельная плотность материала теплоотвода.

Значения $\rho, c, \lambda, \chi, \sigma$ для меди, алмаза, кремния, арсенида галлия и ряда других материалов приведены в [3].

При работе ЛПД в режиме коротких импульсов с длительностью τ_i , меньшей времени тепловой релаксации диодной структуры [4]:

$$\tau_a = \frac{a^2}{4\chi^2}, \quad (1)$$

и скважностью, большей чем τ_a / τ_i , можно достичь существенного увеличения выходной мощности ЛПД. Здесь a – радиус диода; χ – температуропроводность материала теплоотвода.

Как показано в работе [5], выигрыш в величине рассеиваемой, а, следовательно, и полезной мощности, которую дает переход к импульсному режиму становится существенным при:

$$\tau_i < 2\tau_a. \quad (2)$$

Выбираем необходимые для расчета теплового режима $GaAs$ ЛПД трехсантиметрового диапазона следующие параметры: $\chi_{GaAs} \approx 0,26$ см²/с; $\sigma_{II} \approx 0,88$ Вт·с^{1/2}/см²·град; $\sigma_T = 3,75$ Вт·с^{1/2}/см²·град; $\lambda_{Cu} \approx 3,9$ Вт/см·град, $\chi_{Cu} = 1,14$ см²/с.

Зависимости $\tau_a(a)$ приведены на рис. 2. Видно, что при $\tau_i \leq 100$ условию (2) удовлетворяют полупроводниковые структуры с размерами $a > 10$ мкм с медным теплоотводом.

При условии (2) импульсное тепловое сопротивление $R_{Ti}(\tau_i)$, характеризующее перегрев $\Delta T_i(\tau_i) = P_{0i} R_{Ti}(\tau_i)$ активного слоя с

контактной площадью S к концу импульса, определяется выражением:

$$R_{Ti}(\tau_i) = 2 \left(\frac{\tau_i}{\pi} \right)^{1/2} \frac{1}{\pi a^2 \sigma_{\Sigma}} \approx \frac{\tau_i^{1/2}}{S \sigma_{\Sigma}}, \quad (3)$$

где $\sigma_{\Sigma} = \sigma_T + \sigma_{II}$

На рис. 3 представлена зависимость теплового сопротивления R_{Ti} от длительности импульса τ_i , рассчитанная по формуле (3).

Из рис. 3 видно, что при равномерном распределении источников тепла в активном слое температура этого слоя нарастает линейно при $\tau_i \leq \tau_a$ и не зависит от изменения с температуры теплопроводности полупроводника

χ_{II} .

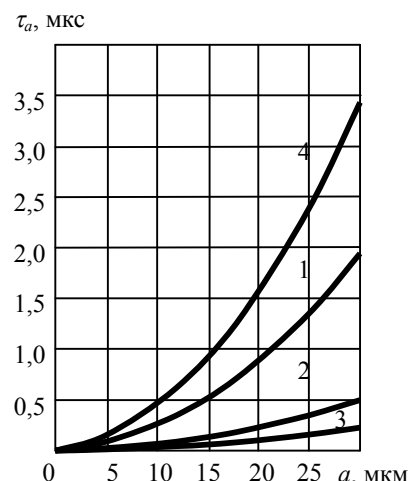


Рис. 2. Зависимость времени тепловой релаксации τ_a от размера структуры a для неограниченного теплоотвода из различных материалов: 1 – медь, 2 – 3 алмаз, 4 – кремний n -типа.

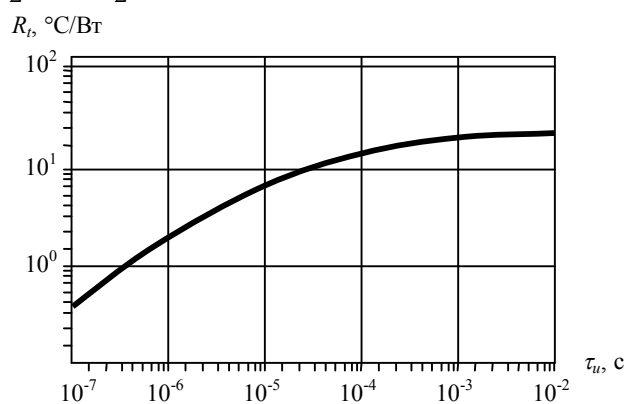


Рис. 3. Зависимость теплового сопротивления диода от длительности импульса

Рассмотрим зависимость допустимой мощности питания P_0 и максимальной полезной импульсной мощности ЛПД $P_i = \eta P_0$ от длительности импульса, при условии $2\tau_a > \tau_i$. Тогда отличие между мощностью P_0 и перегревом диода определится выражением [5].

$$U_0 J_0 S \approx \Delta T_i S \left[\left(\frac{\tau_i^{\frac{1}{2}}}{\sigma_T} + \rho_{II} \right) (1 - \eta) \right]^{-1}, \quad (4)$$

где $\rho_{II} S$ – удельное тепловое сопротивление активного слоя диода.

Выражение (4) определяет максимальную плотность тока, ограниченную допустимым перегревом диода:

$$(1 - \eta) J_0 = \frac{\Delta T_i}{U_0 \left(\frac{\tau_i^{\frac{1}{2}}}{\sigma_T} + \rho_{II} \right)}. \quad (5)$$

Зависимость
и $J_0(\tau_i)$ для
ЛПД площадью
 p - n перехода
 $S = 1 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2$
приведены на
рис. 4. Для ЛПД
с длительностью
импульсов
 $\tau_i = 0,1 \text{ мкс}$.

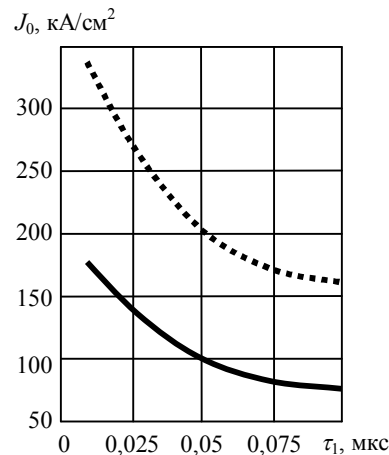


Рис. 4. Максимальная плотность импульсного тока питания ЛПД, J_0 ограничиваемая тепловым перегревом диода ΔT , равным 100°C (---) и 200°C (-), с медным теплоотводом составляет $100 \dots 170 \text{ кА/см}^2$

5. Выводы

Изложенная методика расчета позволяет для конкретно выбранных параметров ЛПД и теплоотвода определить предельно допустимые значения плотности тока питания и импульсной мощности в течение длительности импульса.

Список литературы: 1. Ясинский В. К. Тепловой режим импульсных генераторных диодов / Ясинский В. К. // Радиотехника и электроника. – 1975. – Т. XX, № 1. – С. 224 – 226. 2. Касаткин Л В., Чайка В. Е. Полупроводниковые устройства в миллиметровом диапазоне длин волн / Касаткин Л В., Чайка В. Е. // Севастополь: Издательство Вебер. – 2006. – 319 с. 3. Тагер А. С. К расчету тепловых характеристик полупроводниковых структур в режиме коротких импульсов / Тагер А. С. // Серия 1. Электроника СВЧ. – Вып. 5 – 1981. – С. 3 – 7. 4. Ходневич А. Д. Зависимость выходной мощности ГЛПД от емкости p - n перехода / Ходневич А. Д. // Серия 1. Электроника СВЧ. – 1974. – Вып. 2. – С. 34 – 44. 5. Горбачев А. В., Касаткин Л. В. Каскадное суммирование мощностей ЛПД в режиме внешней синхронизации / Горбачев А. В., Касаткин Л. В. // Электронная техника. – 1982. – Вып. 10. – С. 22 – 27.

Поступила в редколлегию 03.01.2012